

特集

3.

携帯電話用 RF 帯 SAW フィルタ

佐藤 良夫 伊形 理

佐藤良夫 正員 (株)富士通研究所ペリフェラ
ルシステム研究所
E-mail satoh.yoshio@jp.fujitsu.com
伊形 理 正員 (株)富士通研究所ペリフェラ
ルシステム研究所

RF Band SAW Filters for Cellular Phones. By Yoshio SATOH and Osamu IKATA, Members. (Peripheral Laboratories, FUJITSU LABORATORIES LTD., Akashi-shi, 674-8555 Japan).

ABSTRACT

携帯電話の小型、高性能化のキーデバイスの一つとして、RF 帯 SAW フィルタがある。SAW フィルタに求められる性能として、高周波化、広帯域化、低損失化、高圧圧化、高耐電力化、更なる小型化などが重要である。これらの諸要求にこたえるためには、圧電基板材料、電極設計、電極材料、プロセス技術、パッケージ設計など多方面からの開発が必要となる。本稿では、これら幅広い観点から見た最近の諸技術の進展を述べる。また、今後の発展の方向と課題についても、筆者らの見解を述べる。

キーワード：SAW フィルタ、RF フィルタ、アンテナ分波器、携帯電話

1. ま え が き

1989 年のマイクロタックの発売以来、世界中に携帯電話が急速に普及し、近年は音声だけでなくインターネットにも簡単につながれる時代となった。この間、機器の小型、高性能化が急速に進んだが、これには各部品の小型、高性能化が大きな貢献をしてきた。このような部品の一つに有限資産である無線周波数を効率良く利用するための RF (Radio Frequency) フィルタがある。RF フィルタは形状の大きな誘電体フィルタから小型、薄形で急しゅんなカットオフ特性をもつ SAW (Surface Acoustic Wave : 表面弾性波) フィルタに置き換わってきた。SAW フィルタとは表面弾性波を巧みに利用したデバイスで、機械振動を使うため Q が高く、波長は電磁波の 10^{-5} 倍になるため小型化できるのが特徴である。

また、動作が固体表面に限られるので、表面に SAW を制御する回路を設けるだけでよく、半導体製造と同じ方法が使える。図 1 に SAW フィルタの原理を示す。圧電基板上に、軽くて抵抗の低い Al 薄膜で二つのくし形電極を形成する。片方のくし形電極から圧電の逆効果により SAW を励振し、それを隣のくし形電極まで伝搬させ、そこで圧電効果により電気信号に戻す。くし形電極を使ったこの変換過程において、基板に固有な音速 V とくし形電極の周期 λ が次式の関係を満たすような周波数 f_0 を持つ電気信号のみが選択的に抽出される。

$$f_0 = V/\lambda \quad (1)$$

圧電基板上に半導体製造プロセスを用いて作られた多数の SAW フィルタチップとこれらを数 mm 角のセラミックパッケージに収めた製品群を図 2 に示す。

本稿では、携帯電話で求められる RF 用 SAW フィル

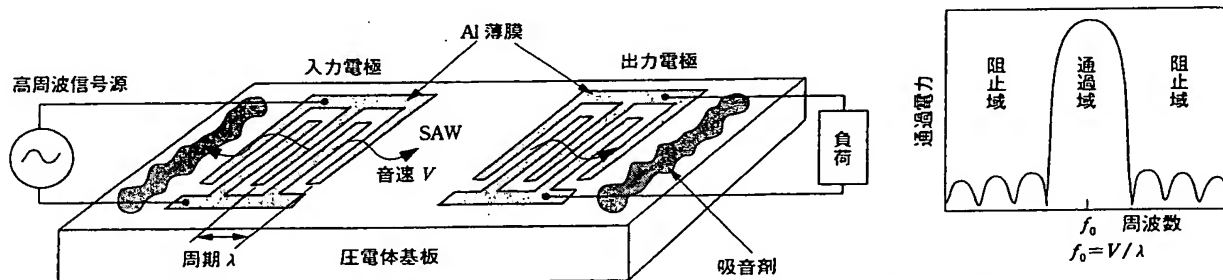


図 1 SAW フィルタの動作原理 入力電極で励振した SAW は出力電極で電気信号に戻す。

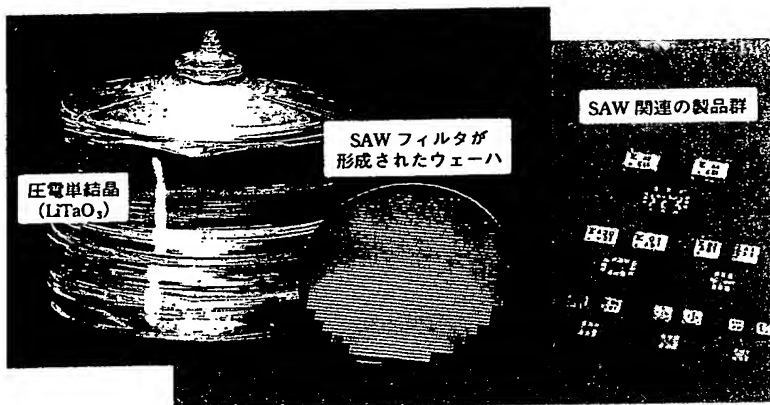


図2 圧電基板上に作られた SAW チップと製品群

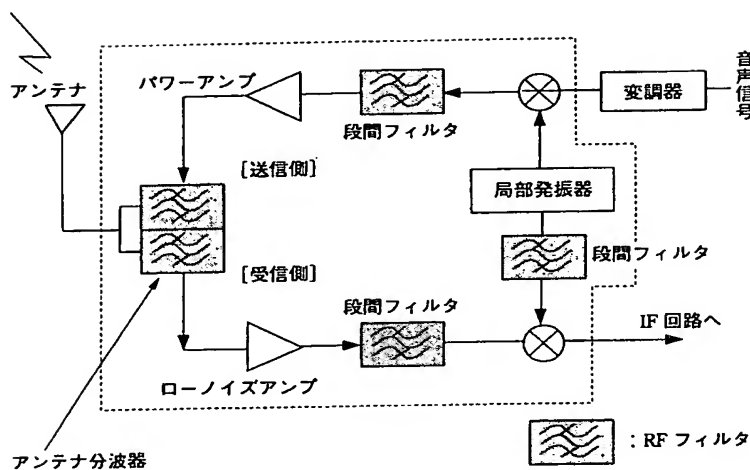


図3 携帯電話のブロック図 携帯電話の RF 部では数個の段間フィルタと1個のアンテナ分波器が使われる。

タの性能及びそれを実現するための諸技術を、圧電基板材料、くし形電極の設計、くし形電極の材料、電極の製造技術、パッケージ技術などの観点から総合的に述べる。また、今後の開発動向についても述べる。

2. 携帯電話と SAW フィルタ

図3に携帯電話や無線LAN機器のRF部の一般的なブロック図を示す。携帯電話のRF部では、増幅器やミキサの後に、アンプによるノイズ低減のため数個の段間フィルタが必要である。またアンテナ部近傍には送受信の信号を切り分けるためのアンテナ分波器が必要である。これらを総称してRFフィルタと呼んでいる。また、受信側IF (Intermediate Frequency) 回路にもチャネル信号を選択するための1個のSAWフィルタが使われており、IFフィルタと呼ばれている。しかし、RFフィルタとは異なる特性が要求され、設計や基板材料もかなり異なっているため、本稿では記述しない。

これらのRFフィルタに求められる性能としては、特

に以下の項目が重要である。

- ① 高周波 (800MHz ~ 2.5GHz) であること
- ② 広帯域 (比帯域幅で3~4%) であること
- ③ 高感度、低消費電力のため低損失である ($< 2 \sim 3\text{dB}$)
- ④ 分波器実現のため高耐電力 ($\sim 1\text{W}$) であること
- ⑤ 小型で低コストであること

これら以外にも、50Ωの入出力インピーダンスや高い帯域外抑圧度、なども要求されるが、ここではそれらの性能はフィルタとして当然満たすべきとして扱う。上記性能を実現するために、圧電基板材料、電極設計、微細加工技術、電極材料、パッケージ技術などSAWフィルタを取り巻く諸技術すべてに開発が必要となる。

3. 圧電基板材料の開発動向

まず高周波化という観点からは、式(1)から分かるように、くし形電極の周期 λ をフィトリソによる製造性を考慮してできるだけ大きくとる必要がある。そのためには、圧電基板の音速 V は大きいことが望ましい。また広帯域であるためには電気機械結合係数もある程度大きくなければならない。更には温度による周波数シフトをできるだけ小さく抑えるため、TCD (Temperature Coefficient of Delay) の小さな材料を選ばなければならない。損失低減という観点からは伝搬ロスを小さくする必要がある。これら

これらの点を総合的に考慮して、圧電材料とそのカット角を選択する。現在最も適しているといわれている材料は、3方晶系の強誘電性結晶であるLiTaO₃やLiNbO₃である。これらの結晶において、ある特定の方向に結晶をカットすると、表面に平行な方向のみ変位成分を持ち、表面に垂直な方向にはほとんど変位しない高音速なSH (Shear Horizontal) 波が存在し (図4参照)、しかも電気機械結合係数も大きいことが早くから知られていた。これらが表1に示す2種類のSH波である。36°YカットX伝搬LiTaO₃は中村⁽¹⁾らにより見いだされたカット角で、電気機械結合係数は中程度であるが、TCDが小さいことが特徴である。一方、64°YカットX伝搬LiNbO₃は、山之内⁽²⁾らにより見いだされたカット角で音速と電気機械結合係数が大きいことが特徴である。いずれも日本で見いだされた技術である。工業的な製造法は既に確立しており、4インチウェーハが標準で入手できる。現在は更に大きな電気機械結合係数と低いTCDを持つKNbO₃が研究されている。

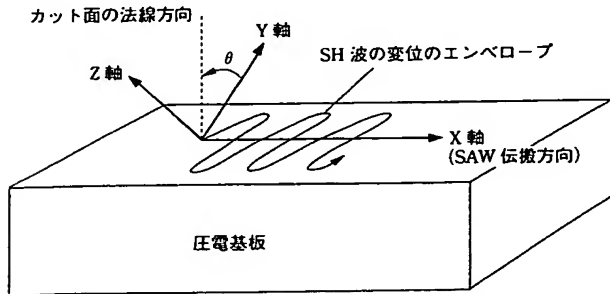


図4 回転Y板のX方向に伝搬するSH型SAW 基板のカット面内のみに変位成分を持つSAWがX方向に伝搬。

表1 代表的なSH波

	36°Yカット-X LiTaO ₃	64°Yカット-X LiNbO ₃
音速(自由表面)	4,210m/s	4,742m/s
TCD	32ppm/°C	79ppm/°C
電気機械結合係数	5%	11%

これらの材料のうち最近ではLiTaO₃が多く使われる傾向にある。理由はTCDが小さいため、電気機械結合係数が不足して広帯域化が難しい場合でも、後述するように電極設計によりある程度カバーできるようになってきたからである。しかし今後更に広帯域化していくときはLiTaO₃では不十分になるであろう。

近年の携帯電話用RFフィルタは、低損失化という要求から、SAWを入力電極から出力電極へ伝搬させるトランスバーサル型（図1の動作原理と同じ方法）から、後述するようにSAW共振器をベースとしたラダー型⁽³⁾やDMS（Double Mode SAW）型フィルタ⁽⁴⁾へとその設計手法が変ってきた。これに伴い、電極の反射係数の増加や電気抵抗低減などによる総合的な損失低減を目的に電極膜厚の厚いものが使われるようになった⁽³⁾。この厚膜化に伴い、LiTaO₃は電極の質量負荷がないとして計算された従来の36°Yカットではもはや最適ではないという考えが橋本らにより提唱された⁽⁵⁾。橋本らはこの考えを基に理論解析と実験を行った。図5は一定周期λを持つストライプ状電極下でのSAWの伝搬ロスに対する回転Y板のカット角（図4のθ）依存性を、規格化した電極膜厚 h/λ をパラメータとして示す⁽⁶⁾。図5から、膜厚が厚くなるにつれ伝搬ロスの少ない最適カット角は大きい方へずれていくことが分かる。後述のラダー型フィルタ設計では、膜厚が h/λ で0.1前後になるので、カット角は40.5°あたりがよい。実際のフィルタに適用した結果では、42°が最適であり、1dBの損失改善と、より急しゅんなカットオフ特性が得られた⁽⁵⁾。

4. くし形電極の設計

フィルタ特性は、くし形電極の設計によりかなりの部分決まってしまうので、この設計法が極めて大事であり、

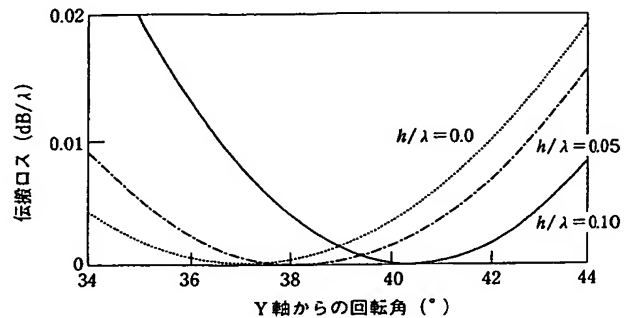


図5 LiTaO₃のLSAWにおける伝搬ロスのカット角依存性 電極膜厚が厚くなるほど最適角は36°より高くなる。

独自設計ということで各メーカーがしのぎを削るところでもある。携帯電話が世に出始めた1989年当時はトランスバーサル型（図1と原理的に同じ）を低損失型に改良したIIDT型（Interdigitated Interdigital Transducer、図6(a)参照）⁽⁶⁾と呼ばれる設計法が主流であった。IIDT型の特徴は、入力電力と出力電力を入れ子状に並べることで一つのくし形電極から発生する双方向のSAWを無駄なく受信し、損失を減らす構造となっている。しかし、当時はまだ挿入損失も大きく（3～4dB）、インピーダンス整合回路も必要としていた。そこで1992年ごろ現われたのが、先に触れたSAW共振器を利用して低損失化を図った2種類の電極設計法である。一つが筆者や正田らによるラダー型^{(3),(7),(8)}と森田らによるDMS型⁽⁴⁾である。ラダー型やDMS型は、もともとは低周波の水晶やセラミックスフィルタなどで使われている構成と基本は同じで、乱暴な言い方をすれば、バルク共振器を高周波なSAW共振器で置き換えたものともいえる。もちろんSAW共振器へ置き換えたことによる新たな設計法や特有な効果も出現した。ここでは新たにRFフィルタの主流となったラダー型とDSM型SAWフィルタの基本構造を紹介するとともに両者の利害得失などについて述べる。

図6(b)にラダー型SAWフィルタの構成例を示す。共振周波数のわずかに異なる2種類の1ポートSAW共振器 R_s （直列腕）、 R_p （並列腕）をはしご形につないだものである。1ポートSAW共振器というのは、同図にあるように、1組のくし形電極とその両側においたAlストライプで作られた反射器とからなり、SAWの定在波を立たせることで、電氣的に図中のLCの二重共振回路と等価な役割を果たすものである。動作原理を簡単に述べる。図7に示すように1ポートSAW共振器を共振周波数でオン、反共振周波数でオフする周波数スイッチと見立て、 R_s の共振周波数 fr_s と R_p の反共振周波数 fa_p を略一致させてはしご形に並べると同図(b)のようにフィルタを構成できる。ここでは R_s 1個と R_p 1個の構成で説明する。まず低周波側では R_p が共振周波数 fr_p

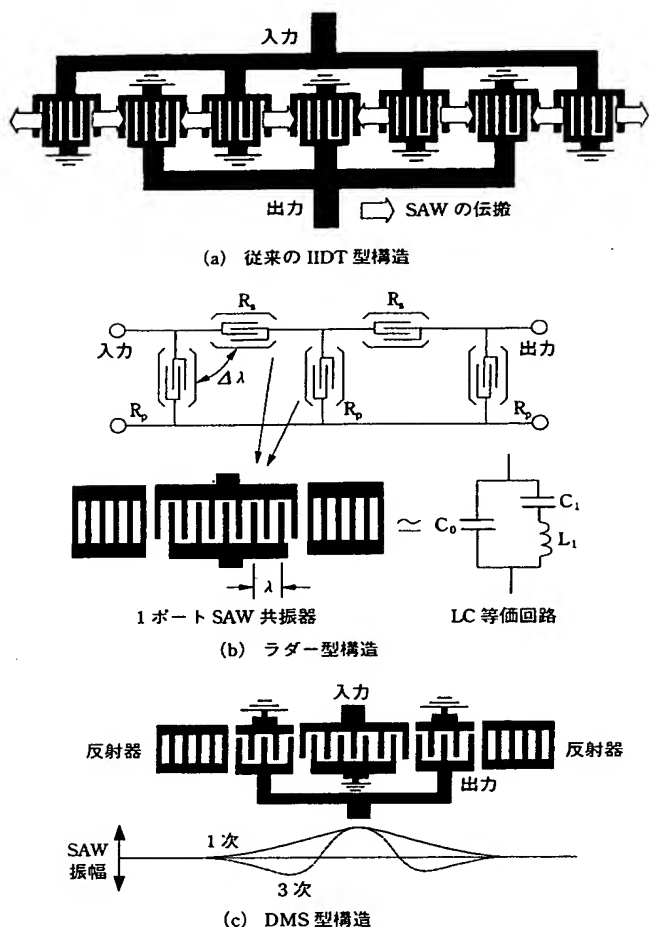
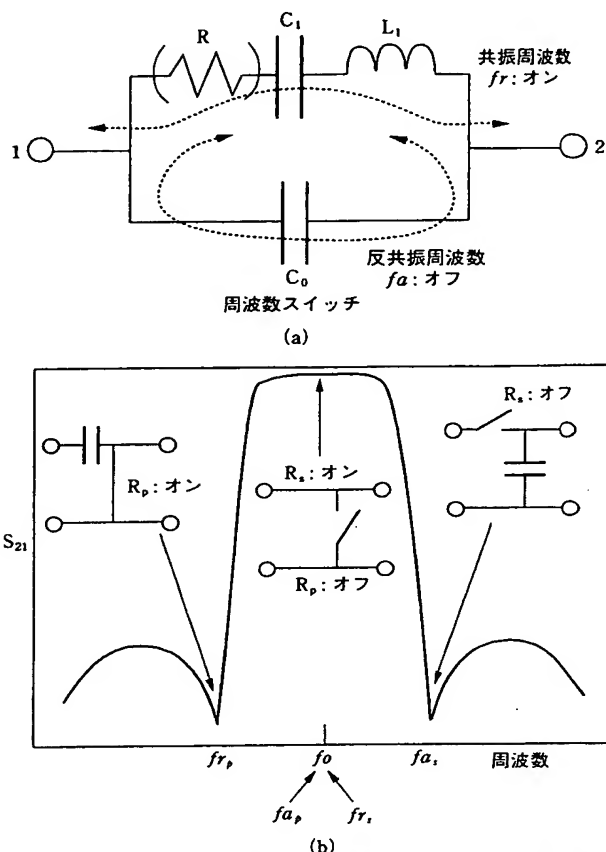


図6 種々の SAW フィルタの電極設計法 ラダー型、DMS 型が SAW 共振器を使った新しい低損失なフィルタ設計法。

でオンになり線路が短絡されるため減衰極が現われる。中心周波数 f_0 では R_s が共振周波数 f_{rs} でオン、 R_p が反共振周波数 f_{ap} でオフとなるため、理想的には損失のない線路となり、整合回路不要となる。高周波側では R_s が反共振 f_{as} でオフとなり再び減衰極が形成される。こうしてバンドパス特性が実現される。

このフィルタ構成の場合、 R_p と R_s の共振周波数差、すなわち両者のくし形電極の周期差 $\Delta\lambda$ の調整が一つの重要なポイントで、800MHz 帯で約 $0.18\mu\text{m}$ 、1.9GHz でその半分となる。このような微妙な周期制御は今日の半導体製造技術である i 線やエキシマ露光を使えば実現可能であることが筆者らにより示された。すなわちラダー型 SAW フィルタは今日の微細加工プロセスの進展によって初めて可能になった技術といえる。筆者らが行ったラダー型 SAW フィルタの具体的な設計法（広帯域で低損失かつ入出力インピーダンスを 50Ω 化する方法など）については、他の文献を参照されたい⁽³⁾。

一方、DMS 型フィルタの構造を図6(c)に示す。基本は端子が入力と出力の2対ある2ポート SAW 共振器



注：添え字 p は並列腕共振器 R_p 、s は直列腕共振器 R_s を意味する。
 f_{rs} 、 f_{as} はそれぞれ R_s における共振周波数と反共振周波数を、
 f_{rp} 、 f_{ap} はそれぞれ R_p における共振周波数と反共振周波数を表す。

図7 ラダー型 SAW フィルタの動作原理 SAW 共振器を周波数スイッチと考えることでフィルタ動作を説明できる。

であり、この構造において入出力の電極つ数や間隔を調整することで縦方向（SAW 伝搬方向）に存在する二つの定在波モード（図では一次と三次）を音響的に結合させバンドパス特性を得るものである。二つの共振器を電気的に結合しているラダー型構造とは少し原理が異なる。この方法は従来帯域が狭かったが、結合係数の大きな $64^\circ\text{Y-X LiNbO}_3$ を使うことで携帯電話仕様を満足させることができた⁽⁴⁾。しかし、その後、電極膜厚を厚くし、電極設計も改善することで、 $42^\circ\text{Y-X LiTaO}_3$ でも広帯域化が可能になった⁽⁵⁾。

同じ $42^\circ\text{Y-X LiTaO}_3$ 基板上に形成したラダー型と DMS 型の特性の違いを図8に示す。挿入損は両者ともに低損失（ $\sim 2\text{dB}$ ）で IIDT 型よりも $1\sim 2\text{dB}$ 改善されている。両者はそれぞれ利害得失があり、用途により使い分けられている。まず、ラダー型の利点を述べる。

- ① より広帯域であること
- ② 高周波側のカットオフ特性が急しゅん（斜線部）なこと
- ③ 高耐電力で三次インタセプトポイントが高いこと

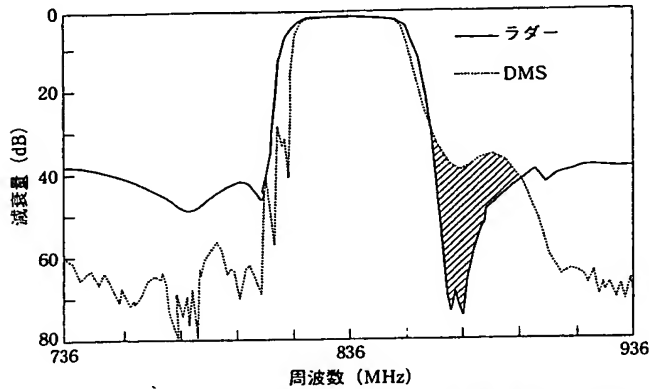


図8 ラダー型とDMS型の比較 ラダー型は広帯域で高周波側減衰大(斜線部)、DMS型は帯域外に優れる。

- ④ 電極が低抵抗であるため高周波化に強いこと
一方、DMS型の利点は、以下になる。
- ① 低周波側や通過域から離れた帯域での抑圧度が高い
- ② 非平衡—平衡型フィルタが設計できること
- 要約すると、後述するように高耐電力、低損失化が要求されるアンテナ分波器のためにはラダー型フィルタでしか実現できない。また、2GHz以上の高周波なフィルタもラダー型構造の方がより低損失、広帯域化できるため有利である。しかし、近年要求の多い非平衡—平衡型フィルタに対してはDMS型が適している。

5. 高耐電力化アンテナ分波器

図3に示したように、携帯電話ではアンテナに直結してアンテナ分波器が使われている。SAWが苦手としていた低損失と高耐電力が要求されるため、ここだけは誘電体フィルタが長く使われてきた。そこで低損失化への開発と平行して、高耐電力化も進められてきた。

SAWフィルタの耐電力値を決めている要因は、くし形電極に流れる電流による発熱と励起したSAWによるストレスとが、電極材であるAlをマイグレーションさ



(a) Al-1%Cu 単層膜：結晶粒が大きく、粒界が膜の上下面で貫通している。

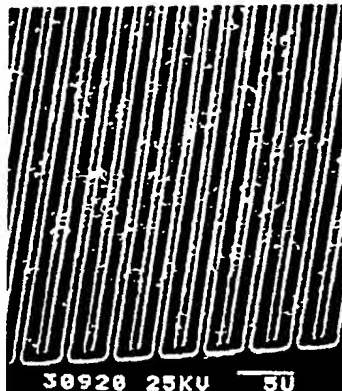


(b) Al-Cu/CuAl₂/Al-Cu 三層膜：合金CuAl₂が粒界を分断し、細粒化している。

図10 高耐電力化のための多層膜構造

せてしまう点にある⁽⁹⁾。図9(a)は高電力を印加し続けた後のAl電極のマイグレーションの様子を示す。そのまま印加すると、Alが飛び散って抵抗が上昇し、発熱が加速され、最後は図9(b)に示すように溶断してしまう。

Al原子のストレスマイグレーションはIC配線におけるエレクトロマイグレーションとも類似する部分があるので、当初は似た手法が防止策として使われた。Alに少量の異種金属を添加しAl粒界に生ずるAl合金でマイグレーションを阻止する方法である。具体的には、Al-Cu⁽⁹⁾、Al-Ti⁽¹⁰⁾などの2元系やAl-Cu-Mgなどの3元系が使われた。しかし、ラダー型SAWフィルタに適用してみると1Wは無理であった⁽¹¹⁾。Alを単結晶化する方法も試みられたが、基板の結晶性に依存するため、LiTaO₃上ではまだ成功していない。この後、研究されたのが、Al膜と他の金属薄膜を使った多層化である。多層化には大きく分けて二つの効果がある。一つは膜の粒界を細かくし、ストレスマイグレーションに強くする効果、もう一つは膜の中間に固い層を設けて、粒界に沿った亀裂発生をブロックする効果などである。前者の代表は、松倉⁽¹²⁾が提案した二層構造で、CuやTiの薄い下地膜の上にAlやAl-Cuをスパッタする。[111]に配



(a) マイグレーション発生



(b) 更に印加、発熱溶断

図9 Alのマイグレーションと溶断の様子

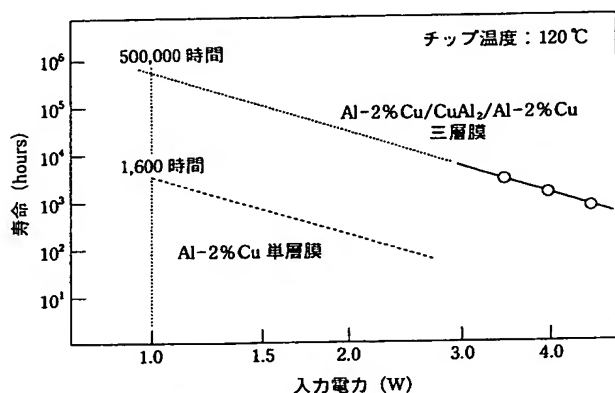


図 11 CuAl₂ 三層膜と従来の単層膜との寿命の比較 三層膜は入力 1W で十分な寿命 50 万時間を持つ。

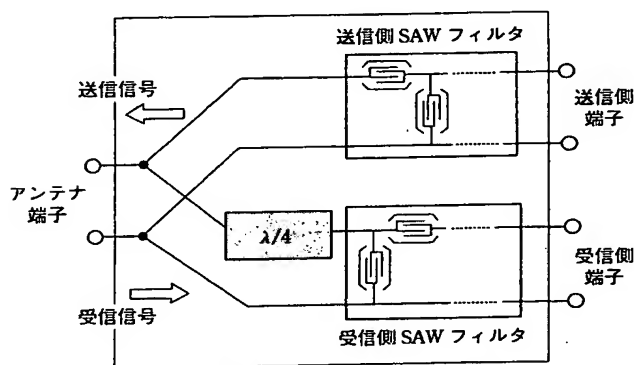


図 12 アンテナ分波器の構造 SAW フィルタの構造を工夫することでアンテナ分波器全体の回路構成を簡素化し、低損失、小型化している。

向した細かな Al 粒が柱状成長し、機械的強度を強めるものである。一方、後者の代表は筆者らが提案したもの⁽¹¹⁾で、Al-Cu 膜の間に固い合金の CuAl₂ 層を挟んだ三層構造をとる (図 10(b))。CuAl₂ 膜は Cu をスパッタして形成する。図 10(a) の従来の Al-Cu 単層膜と比較すると分かるように中間の CuAl₂ 層は粒界が膜の上下面で突き抜けるのをブロックするとともに、結晶粒自身も

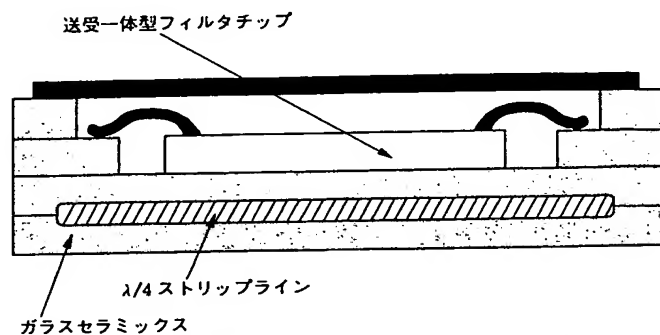


図 13 パッケージ断面構造 λ/4 線路はストリップ線として層間に折り畳まれている。

細分化している。図 11 に一例として Cu 三層膜の耐電力効果を示す。横軸にフィルタへの入力電力、縦軸にフィルタとして機能しなくなるまでの寿命を示す。従来の単層膜と比較すると、寿命で約 200 倍改善され、1W 入力で 50 万時間と携帯電話用途には十分な特性になった。

次にアンテナ分波器について述べる。アンテナ分波器への試みは古く、先駆的なものとして正田らの開発が挙げられる⁽¹³⁾。しかし、大きさや特性面で必ずしも十分とはいえず、その後筆者らのラダー型 SAW フィルタを用いた小型分波器開発⁽¹⁴⁾により、本格的に実用化されるようになった。筆者らの分波器の基本構造を図 12 に示す。中心周波数の異なる送受二つのフィルタと、両者のインピーダンス関係を調整する λ/4 位相線路とだけからなる非常にシンプルな構造となっている。これは、ラダー型 SAW フィルタの構造を分波器用に工夫することにより初めて可能になった⁽¹⁴⁾技術で、小型、低損失化に寄与している。またパッケージとしては、図 13 に示すように、λ/4 位相線路を、送受信フィルタチップ (1 チップ) の下側に折り畳んで挿入している。パッケージ材も低抵抗の Cu が使えるガラス系セラミックスを用いている。このように小型で低損失となるような工夫が

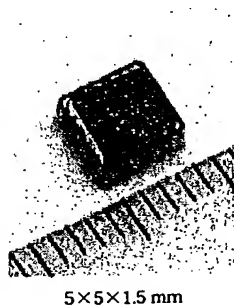


図 14 アンテナ分波器北米仕様を満す超小型分波器。

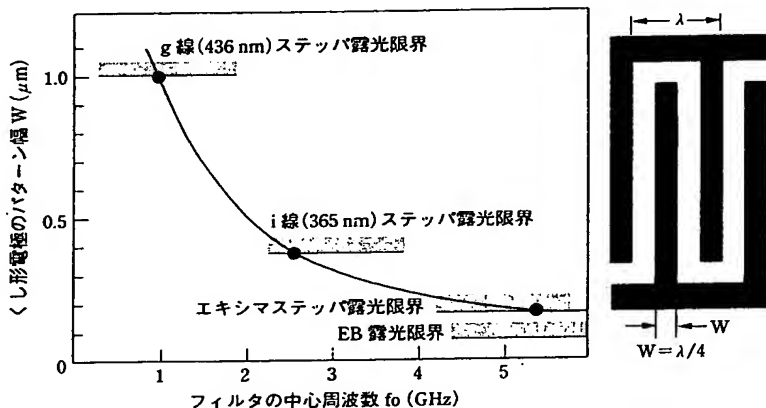
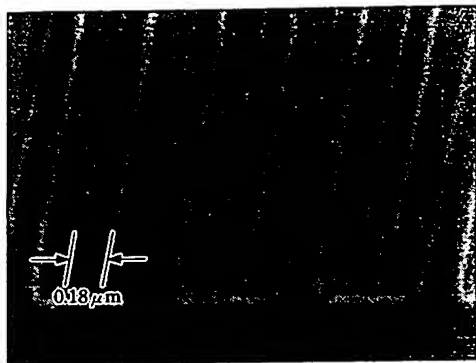
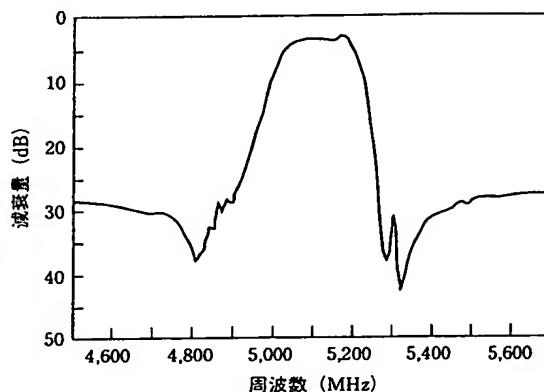


図 15 SAW フィルタの中心周波数とパターン幅 i 線では 2.5GHz まで量産可能。それ以上はエキシマステッパ。



電極の SEM 写真

図 16 5 GHz 帯 SAW フィルタの電極と特性 特性は中心周波数 5.1GHz バンド幅 150MHz, 最小挿入損 3dB を得ている。設計はライダー型, 露光は電子ビームによる。



パッケージ構造にも施されている。図 14 に開発したアンテナ分波器の外観を示す。北米 AMPS (Advanced Mobile Phone System で 800MHz 帯を使う) 仕様を満たす。大きさは $5 \times 5 \times 1.5$ mm (0.04cc) で同仕様の誘電体分波器の $1/30$ 以下の体積である。このように、アンテナ分波器ではパッケージも重要な機能部品となっている。

6. 高周波化と微細パターンプロセス

移動通信システムは新システムを導入するたびに使用周波数も 800MHz 帯から 1.5GHz, 2GHz 帯へと高周波化してきた。現状で最も高いのは携帯電話では W-CDMA の 2GHz 帯, 無線 LAN の 2.4GHz 帯である。高周波化のためには、圧電基板が固定された場合、式 (1) からパターン周期 λ を狭くする必要がある。図 15 に LiTaO_3 基板を用いたときのフィルタの中心周波数 f_0 と、くし形電極のパターン幅 W ($= \lambda / 4$) との関係を表式 (1) に従ってプロットする。現状では半導体製造で使われる i 線による露光とリフトオフまたは反応性イオンエッチングを用いた $0.4 \mu\text{m}$ ルールの Al のパターンニングプロセスが既に量産ラインに乗り 2.4GHz 帯の無線 LAN 用フィルタが製品化されている。更に 3~5GHz 帯のフィルタにはエキシマステッパで対応可能である。図 16 に実験的であるが、電子ビーム露光を用いてパターンニングした 5GHz 帯 SAW フィルタの $0.18 \mu\text{m}$ 電極の SEM 写真と得られた特性を示す。2GHz 帯フィルタと比べそんなに広帯域で低損失な特性が得られている。次々世代の第 4 世代携帯電話システムは使用周波数が未定であるが、少なくとも 5GHz までは超小型な SAW フィルタで対応可能であることが示された。

7. 今後の動向と課題

以上、述べてきたように、今後は 3GHz 以上の更なる

高周波化が進められていくとともに、高耐電力化も必要である。高耐電力が必要なアンテナ分波器は、800MHz 帯は実用化されたが、くし形電極のパターン幅が微細化する 2GHz 帯は、現在開発中である。また、より急しゅんなカットオフ特性やより低損失化が求められるため、更なる高 Q な設計手法も重要である。

小型化に対する動向は割愛したが、現状の段間フィルタでは最小 2mm 角のものが実用化されている。またセラミックでなく、より安価な樹脂パッケージを用いたものも出現している。今後もチップサイズ化を目指して小型化が進むであろう。

8. ま と め

RF 帯 SAW フィルタには広帯域化、低損失化、高周波化、高耐電力化、小型化、低価格化などが要求されるが、これらを満たすべく、基板材料、電極設計技術、電極材料、パッケージ、プロセス技術など広範な技術が総合的に改善されている。将来は 5GHz 以上のデバイスも夢ではなくなり、次々世代の移動通信機器においてもキーデバイスになると予測される。

文 献

- (1) K. Nakamura, M. Kazumi, and H. Shimizu, "SH-Type and rayleigh-type surface waves on rotated Ycut LiTaO_3 ," IEEE Proc. of Ultrasonics Symposium, pp.819-822, 1977.
- (2) K. Yamanouchi and K. Shibayama, "Propagation and amplification of rayleigh waves and piezoelectric leaky surface waves in LiNbO_3 ," J. Appl. Phys., vol.43, no.3, pp.856-862, 1972.
- (3) 佐藤良夫, 伊形 理, 宮下 勉, 松田隆志, 西原時弘, "SAW 共振器を用いた低損失帯域フィルタ," 信学論 (A), vol.J76-A, no.2, pp.245-252, Feb. 1993.
- (4) T. Morita, Y. Watanabe, M. Tanaka, and Y. Nakazawa, "Wideband low-loss double mode SAW filters," IEEE Proc. of Ultrasonics Symposium, pp.95-104, 1992.
- (5) K. Hashimoto, M. Yamaguchi, S. Mineyoshi, O. Kawa-

- chi, M. Ueda, G. Endoh, and O. Ikata, "Optimum leaky SAW cut of LiTaO₃ for minimised insertion loss devices," IEEE Proc. of Ultrasonics Symposium, p.245, 1997.
- (6) M.F. Lewis, "SAW filters employing interdigitated interdigital transducer IIDT," IEEE Proc. of Ultrasonics Symposium, pp.12-17, 1982.
- (7) 佐藤良夫, 宮下 勉, 伊形 理, "SAW 共振器型低損失バンドパスフィルタ (I)," 信学春大, no.A-393, p.1-394, 1992.
- (8) 正田光孝, 田淵豊治, 柴垣信彦, 赤木貴俊, "新構造の SAW 共振器結合形フィルタ (1)," 信学春大, no.A-395, p.1-396, 1992.
- (9) 江畑泰男, 森下繁文, "SAW 共振子における Al 薄膜のメタルマイグレーション," 信学論 (C), vol.J67-C, no.3, pp.278-285, March 1984.
- (10) J. Yamada, N. Hosaka, A. Yuhara, and A. Iwama, "Sputtered Al-Ti electrode for high power durable SAW devices," IEEE Proc. of Ultrasonics Symposium, pp.285-290, 1988.
- (11) Y. Satoh, T. Nishihara, and O. Ikata, "SAW duplexer metallization for high power durability," IEEE Proc. of Ultrasonics Symposium, pp.17-26, 1998.
- (12) N. Matsukura, A. Kamijo, E. Otsuka, Y. Takahashi, N. Sakairi, and Y. Yamamoto, "Power durability of highly textured AL electrode in SAW devices," Jpn. J. Appl. Phys., vol.35, no.5 B, pp.2983-2986, 1996.
- (13) M. Hikita, Y. Ishida, T. Tabuchi, and K. Kurosawa, "Miniature SAW antenna duplexer for 800MHz portable telephone used in cellular radio system," IEEE Trans. Microw. Theory Tech., vol. MTT-36, pp.1047-1056, 1988.
- (14) O. Ikata, T. Nishihara, Y. Satoh, H. Fukushima, and N. Hirasawa, "A design of antenna duplexer using ladder type SAW filters," IEEE Proc. of Ultrasonics Symposium, pp.1-4, 1998.



佐藤 良夫 (正員)

昭 47 東北大・工・電子卒。昭 49 同大学院修士課程了。同年 (株) 富士通研究所入社。同年から昭 62 までバブルメモリの研究に従事。平元から現在まで, SAW フィルタの研究に従事。現在, 同社ペリフェラルシステム研究所主席研究員。工博。



伊形 理 (正員)

昭 60 日大大学院修士課程了。同年 (株) 富士通研究所入社。同年から昭 62 までバブルメモリの研究に従事。昭 63 より静磁波デバイス及び SAW フィルタの研究に従事。現在, 同社ペリフェラルシステム研究所メディアデバイス研究部主任研究員。